

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **09-228018**

(43)Date of publication of application : **02.09.1997**

(51)Int.Cl.

C23C 2/12

B23K 1/20

C23C 2/28

(21)Application number : **08-048372**

(71)Applicant : **NISSHIN STEEL CO LTD**

(22)Date of filing : **09.02.1996**

(72)Inventor : **HATTORI YASUNORI**

ANDO ATSUSHI

KIKKO TOSHIHARU

(30)Priority

Priority number : **07347736** Priority date : **15.12.1995** Priority country : **JP**

(54) ALUMINUM PLATED STEEL SHEET EXCELLENT IN BRAZABILITY AND ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the brazability of an aluminum plates steel sheet.

SOLUTION: This aluminum plated steel sheet is the one using a steel sheet contg. 0.0020 to 0.0200% N as the stock, and in which an aluminum plating layer contg. 5 to 15% Si and having $\geq 7\mu\text{m}$ film thickness is formed on the surface of the steel sheet, and an N-concentrated layer contg. ≥ 3.0 atomic % N is formed on the boundary between the steel sheet and aluminum plating layer. The N-concentrated layer is formed by using a steel sheet contg. $\geq 0.0020\%$ N as the stock, forming an aluminum plating layer contg. 5 to 15% Si and having $\geq 7\mu\text{m}$ film thickness on the surface of the steel sheet and, after that, executing heat treatment of T to $570^\circ\text{C}_{\mu 0.5}$ to 50hr in which the lower limit temp. T($^\circ\text{C}$) is regulated in such a manner that, in the case of $0.002\% \leq N\% < 0.005\%$, $T = -3848\mu\text{N}^{1/2} + 672 - 35\log(t/50)$, and in the case of $0.005\% \leq N\% \leq 0.020\%$, $T = -1414\text{N}^{1/2} + 500 - 35\log(t/50)$ [where (t) denotes heating time (hr)] are satisfied, respectively. Thus, the growth of an alloy layer is suppressed by the Ni-concentrated layer, and a sound brazed joint can be obtd. without deteriorating the silver-white surface of the aluminum plating layer.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

28.11.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application]

converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3485713

[Date of registration]

24.10.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-228018

(43) 公開日 平成9年(1997)9月2日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 3 C 2/12			C 2 3 C 2/12	
B 2 3 K 1/20			B 2 3 K 1/20	B
C 2 3 C 2/28			C 2 3 C 2/28	

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願平8-48372	(71) 出願人	000004581 日新製鋼株式会社 東京都千代田区丸の内3丁目4番1号
(22) 出願日	平成8年(1996)2月9日	(72) 発明者	服部 保徳 大阪府堺市石津西町5番地 日新製鋼株式 会社技術研究所内
(31) 優先権主張番号	特願平7-347736	(72) 発明者	安藤 敦司 大阪府堺市石津西町5番地 日新製鋼株式 会社技術研究所内
(32) 優先日	平7(1995)12月15日	(72) 発明者	橘高 敏晴 大阪府堺市石津西町5番地 日新製鋼株式 会社技術研究所内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 小倉 亘

(54) 【発明の名称】 ろう付け性に優れたアルミめっき鋼板及びその製造方法

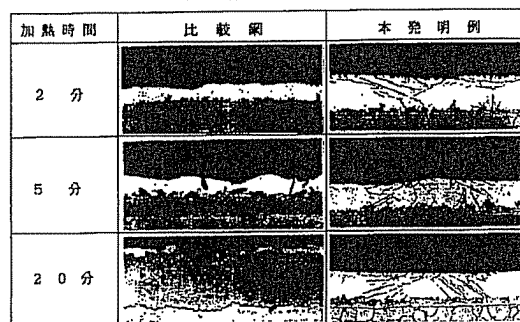
(57) 【要約】

【課題】 アルミめっき鋼板のろう付け性を改善する。

【解決手段】 このアルミめっき鋼板は、0.0020～0.0200%以上のNを含む鋼板を素地とし、その表面にSi:5～15%を含み膜厚7μm以上のアルミめっき層が鋼板表面に形成されており、鋼板とアルミめっき層との界面にN:3.0原子%以上のN濃縮層が形成されている。N濃縮層は、0.0020%以上のNを含む鋼板を素地とし、Si:5～15%を含み膜厚7μm以上のアルミめっき層を鋼板表面に形成した後、下限温度T(℃)が下限温度が0.002%≤N%<0.005%では $T = -3848 \times N^{1/2} + 672 - 35 \log(t/50)$, 0.005%≤N%≤0.020%では $T = -1414 \times N^{1/2} + 500 - 35 \log(t/50)$ [ただし、tは加熱時間(時)]で規制される温度T～570℃×0.5～50時間の熱処理を施すことにより形成される。

【作用】 合金層の成長がN濃縮層により抑制され、アルミめっき層の銀白色表面を損なうことなく健全なろう付け継手が得られる。

合金層の成長過程



加熱温度: 610℃

25μm

【特許請求の範囲】

【請求項1】 0.0020～0.0200重量%のNを含む鋼板を素地とし、Si：5～15重量%を含み膜厚7 μ m以上のアルミめっき層が鋼板表面に形成されており、鋼板とアルミめっき層との界面にN：3.0原子%以上のN濃縮層が形成されているろう付け性に優れたアルミめっき鋼板。

【請求項2】 0.0020～0.0200重量%のNを含む鋼板を素地とし、Si：5～15重量%を含み膜厚7 μ m以上のアルミめっき層を鋼板表面に形成した後、下限温度が0.0020重量% \leq N重量% $<$ 0.0050重量%では $T=-3848\times N^{1/2}+672-35\log(t/50)$ 、0.0050重量% \leq N重量% \leq 0.0200重量%では $T=-1414\times N^{1/2}+500-35\log(t/50)$ [ただし、tは加熱時間(時)]で規制される温度T(℃)～570℃の温度範囲に0.5～50時間加熱するN濃縮熱処理を施すことを特徴とするろう付け性に優れたアルミめっき鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、ろう付け性に優れたアルミめっき鋼板及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】アルミめっき鋼板は、アルミめっき層の優れた耐食性、耐熱性、耐酸化性、表面性状等を活用して配管、車両用部品、建材等の各種分野で使用されている。特に高温酸化性雰囲気曝露される環境では、他の表面処理鋼板では得られない耐高温酸化性及び耐久性が発揮される。アルミめっき鋼板を構造部材等として使用するに際しては、他の部材との接合が必要になる。通常は、ボルト、リベット等の機械的な固着によってアルミめっき鋼板製部材を他の異種部材に接合しているが、機械的固着では工数が多く、また必要とする接合強度も得られ難い。そこで、たとえば特開昭62-238066号公報では、ろう付けによってアルミめっき鋼材をアルミ材に接合している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】アルミめっき鋼板をろう付けするとき、ろう付け温度は、通常のAlの融点より若干低い温度、具体的には580～630℃の温度範囲に設定される。しかし、ろう付け時の加熱によってアルミめっき層と素地鋼との間でAlとFeの相互拡散反応が進み、アルミめっき層本来の優れた特性がろう付け後に失われる場合がある。たとえば、素地からFeがアルミめっき層に拡散し、めっき層表面まで達すると、アルミめっき層特有の銀白色から灰黒色に変色する。灰黒色化しためっき層は、外観を著しく損なうばかりでなく、耐食性及び耐熱性も劣化する。また、アルミめっき層とろう材の間で接合反応が生じず、ろう付けできない

こともある。ろう付けされても、Al-Fe系の金属間化合物層が厚く成長し、用途から要求される接合強度を持った継手が得られないことが多い。この点について詳細に検討した結果、厚く成長したAl-Fe系金属間化合物層は、加熱初期段階で成長した Al_5FeSi 金属間化合物層とその下層に新たに晶出した Al_5Fe_2 金属間化合物層の2層から形成されていることが判明した。Al-Feの相互拡散反応の進行に伴い、 Al_5FeSi 金属間化合物層と素地鋼との間に晶出する Al_5Fe_2 金属間化合物層は、著しく硬く脆いため、ろう付け接合部の強度を低下させる原因となる。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、アルミめっき鋼板がろう付け性に劣る原因としてアルミめっき層と素地鋼の間の拡散反応にあることに着目し、拡散反応を抑制するN濃縮層をアルミめっき層と素地鋼との界面に形成することにより、アルミめっき鋼板のろう付け性を改善することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明のアルミめっき鋼板は、その目的を達成するため、0.0020～0.0200重量%のNを含む鋼板を素地とし、Si：5～15重量%を含み膜厚7 μ m以上のアルミめっき層が鋼板表面に形成されており、鋼板とアルミめっき層との界面にN：3.0原子%以上のN濃縮層が形成されていることを特徴とする。N濃縮層は、0.0020～0.0200重量%のNを含む鋼板を素地とし、Si：5～15重量%を含み膜厚7 μ m以上のアルミめっき層を鋼板表面に形成した後、下限温度が0.0020重量% \leq N重量% $<$ 0.0050重量%では $T=-3848\times N^{1/2}+672-35\log(t/50)$ 、0.0050重量% \leq N重量% \leq 0.0200重量%では $T=-1414\times N^{1/2}+500-35\log(t/50)$ [ただし、tは加熱時間(時)]で規制される温度T(℃)～570℃の温度範囲に0.5～50時間加熱する熱処理を施すことにより形成される。

【0005】本発明で使用するめっき原板は、溶融アルミめっき後の熱処理でアルミめっき層と素地鋼との界面にN濃縮層を形成させるため、0.0020重量%以上のNを含むことが必要である。N含有量が0.0020重量%未満では、熱処理によっても十分なN濃縮層が生成されず、ろう付け時の加熱でアルミめっき層と素地鋼との間に拡散反応が生じ易くなる。しかし、N含有量が0.0200重量%を超えると、鋼板自体が硬質化し、ろう付け前に施される成形加工が困難になる。なお、N含有量が0.0020重量%以上である限り、使用可能な鋼種に制約を受けるものではなく、普通鋼、低合金鋼、高合金鋼、ステンレス鋼等の各種鋼板をめっき原板として使用できる。ただし、鋼中に存在するAlは、鋼材の熱履歴によってNと反応してAlNとして鋼中に析出し、N濃縮層の形成を阻害する元素であることから、

Al含有量0.030重量%以下の鋼材が好ましい。

【0006】鋼板表面に形成されるアルミめっき層は、ろう材との親和性を改善し、ろう付け温度が高くなることを抑制する作用を呈する。すなわち、アルミのろう付けに通常使用されているろう材には数%のSiが含まれており、このSi含有によってろう付け温度を低くしている。このようなろう材を使用してアルミめっき鋼板をろう付けするとき、アルミめっき層がSiを含んでいないものでは、ろう材からアルミめっき層にSiが拡散し、ろう材が軟化溶融する温度を高くせざるを得ない。その結果、被ろう付け材の熱変形が大きくなると共に、素地からのFe拡散に起因してアルミめっき層の灰黒色化が進行する。更に、Siを含んでいないアルミめっき層は、溶融アルミめっき時にAl-Fe系金属間化合物層が厚く成長するため、ろう付け接合前に成形加工するとめっき層に大きな割れを生じ、ろう付け困難となる。

【0007】この点、本発明では、アルミめっき層のSi含有量を5重量%以上とすることにより、ろう材からアルミめっき層へのSi拡散を抑え、ろう付け温度を低温化している。そのため、ろう付け後も、アルミめっき特有の銀白色を呈する表面が維持される。しかも、溶融めっき時にAl-Fe系金属間化合物層が厚く成長しないため、良好な加工性も備えている。しかし、15重量%を超えるSi含有量では、アルミめっき層からろう材へSiが拡散し、ろう材中のSi濃度が上昇するため、ろう材自体が機械的性質、特に強度を低下させる。なお、このような特性を損なわない限り、他の特性を向上させるためにMg, Zn, Cr, Mn, Sr, Sb, Sn, Ti等をめっき層に含ませてもよい。

【0008】アルミめっき層は、ろう材の一部としても働き、比較的に少ないろう材消費量でのろう付けを可能にする。アルミめっき層は、膜厚が7 μ m以上でろう材に対する良好な濡れ性を示す。そのため、良好なろう付けを可能にするためには、7 μ m以上の厚みでアルミめっき層を形成することが必要である。他方、膜厚の上限は、特に規定されるものではない。アルミめっき層と素地鋼との界面には、3.0原子%以上のN濃縮層が形成されている。N濃縮層は、素地鋼からアルミめっき層に拡散しようとするFeに対するバリアーとして働き、アルミめっき層と素地鋼との間に生じるAl-Feの相互拡散反応を抑制する。その結果、アルミめっき層を通常のアルミ材と同様にろう付けすることが可能となる。N濃縮層がろう付け性の向上に及ぼす影響は、本発明者等によって見出されたものであり、3.0原子%以上の濃度でN濃縮層の作用が顕著になる。

【0009】N濃縮層をバリアーとして有効に作用させるためには、3.0原子%以上の濃度をもったN濃縮層

が50Å以上の厚みでアルミめっき層と素地鋼との界面に存在することが好ましい。N濃縮層の厚みが50Å未満になると、Feが素地鋼からアルミめっき層に拡散することを抑える作用が弱くなる。N濃縮層は、加熱時間をt(時)とすると、溶融アルミめっき後の鋼板を下限温度T(°C)が0.002重量% \leq N重量% $<$ 0.005重量%では $T = -3848 \times N^{1/2} + 672 - 35 \log(t/50)$, 0.005重量% \leq N重量% \leq 0.020重量%では $T = -1414 \times N^{1/2} + 500 - 35 \log(t/50)$ で規制される温度T(°C)~570°C \times 0.5~50時間の熱処理を施すことにより形成される。下限温度は、N含有量の増加に従ってN濃縮層が生成し易くなるため、N含有量に応じて低温側に移行する。しかし、熱処理温度が下限温度を下回ると、Al-Feの相互拡散反応を抑制するN濃縮層の形成に50時間を超える長時間の加熱が必要になるため、工業的規模での生産を考慮すると著しいコスト上昇を招く。これに対し、下限温度以上の温度で熱処理すると、50時間以内の加熱でAl-Feの拡散反応抑制に有効な3.0原子%以上のN濃縮層が形成される。

【0010】また、熱処理温度がAl-Siの共晶温度577°Cを超えると、めっき層自体が部分的に溶融し始め、熱処理時にコイル密着、めっき層膜厚の不均一化、加熱設備とアルミめっき鋼板との局所的な密着等、様々なトラブルが発生し易くなる。そのため、本発明では熱処理温度の上限を570°Cに設定した。なお、熱処理時間は、加熱温度が下限温度~570°Cの範囲であれば、アルミめっき層と素地鋼との界面に3.0原子%以上のN濃縮層を形成させることから、0.5~50時間の範囲で設定される。熱処理雰囲気は、特に制約されるものでなく、前述した熱処理条件で加熱するとき、H₂, N₂, Ar, 真空等の雰囲気に関係なく、目的とする作用をもったN濃縮層が形成される。このようにしてN濃縮層が形成されたアルミめっき鋼板は、通常のアルミ材と同様にろう付けすることができ、ろう付け後の表面も当初の銀白色の光沢をもち、アルミめっき本来の耐食性、耐熱性、耐酸化性等が維持されている。

【0011】

【実施例】組成を表1に示す鋼材A~Cをめっき原板として使用し、露点-40°Cの50%H₂-N₂雰囲気中で720°C \times 30秒間の均熱処理を施した。その後、同じ雰囲気下に保持されたSi:9.2重量%及びFe:1.7重量%を含む浴温650°Cのアルミめっき浴に2秒浸漬し、鋼板表面にSi含有量9.0重量%、膜厚20 μ mのアルミめっき層を形成した。

【0012】

表1:使用した鋼板の組成

鋼種 記号	合金成分及び含有量 (重量%)							
	C	Si	Mn	P	S	Al	O	N
A	0.036	0.010	0.22	0.012	0.010	0.015	0.0014	0.0015
B	0.038	0.012	0.22	0.014	0.011	0.015	0.0016	0.0029
C	0.038	0.010	0.25	0.012	0.010	0.015	0.0015	0.0040
D	0.045	0.012	0.30	0.015	0.010	0.018	0.0022	0.0057
E	0.035	0.010	0.27	0.012	0.010	0.018	0.0017	0.0075
F	0.040	0.010	0.28	0.012	0.010	0.022	0.0017	0.0106
G	0.041	0.012	0.28	0.011	0.011	0.028	0.0019	0.0172
H	0.043	tr.	0.30	0.015	0.012	tr.	0.0328	0.0125

【0013】溶融アルミめっきした鋼板は、25mm×100mmのサイズに調整し、昇温速度100℃/時で加熱し、520℃に6時間保持する熱処理を施した。熱処理後のアルミめっき鋼板についてろう付け加熱時の合金層の成長状態を調査するため、10℃/秒で昇温し、570～610℃に5分間保持した。加熱温度が合金層の成長に及ぼす影響を調査したところ、図1に示すように加熱温度の上昇に伴って比較鋼Aでは合金層が厚く成長したのに対して、本発明に従った鋼B、Cでは合金層の厚みは4～5μmの間でほぼ一定していた。比較鋼Aと本発明に従った鋼Cについて、600℃での保持時間を2、5、20分と変化させ、めっき層断面を観察し、合金層の成長過程を調査した。図2の調査結果にみられるように、比較鋼Aでは短時間でAl-Fe系金属間化合物層が厚く成長するのに対し、本発明に従った鋼Cでは20分間の加熱においてもAl-Fe系金属間化合物層の成長を抑制していることが判る。

【0014】本発明者等は、合金層の成長にこのような差が現れる原因を素地鋼の表面状態にあるものと推察した。そこで、本発明例のめっき原板表面からアルミめっき層を除去した後、オージェ分光分析により鋼表面から深さ方向に関する各種元素の濃度分布を求めた。鋼Bでは、図3の分析結果にみられるように、表層にNが濃縮していることが判った。他方、比較鋼Aを同様に元素分析したもので、Nの濃縮が検出されなかった。また、鋼Bであっても、前述した520℃×6時間の熱処理を施さないと、N濃縮層が検出されなかった。このことから、N濃縮層によってアルミめっき層の合金化反応が抑制されることが確認された。なお、図3において、スパッタリング時間10分は、Fe換算で500Åの厚みに

相当する。また、熱処理がN濃縮層の生成に及ぼす影響を調査するため、鋼Bをめっき原板としたアルミめっき鋼板をろう付けを想定して、400～560℃で6時間の熱処理を施した後、570～600℃で5分間の耐熱試験を実施した。このとき生成した合金層の厚みを、熱処理温度で整理し図4に示す。図4から明らかなように、500～560℃で6時間の熱処理をしたものでは、570～600℃で耐熱試験しても金属間化合物層の成長が抑制されている。

【0015】表1に示した鋼A～Hを同様な条件でアルミめっきし、めっき層の厚み、めっき浴中のSi濃度を変化させたアルミめっき層を形成した。また、アルミめっき後の熱処理条件も変化させた。その後、アルミめっき鋼板のろう付け性を調査するため、アルミめっき鋼板相互を図5に示すように重ね合わせてろう付けした。ろう付けでは、合せ面にフッ化物系のフラックスを塗布し、JIS A4045合金をろう材として使用し、図6に示す加熱パターンに従って大気中で加熱した。ろう付けした材料は、引張り試験によって接合強度を測定した。そして、引張り強さ10kgf/mm²以上の良好な接合強度が得られたものを○、引張り強さ10kgf/mm²未満のものを△、全く接合しなかったものを×として3段階評価した。ろう付け性の調査結果を示す表2にみられるように、本発明に従ったろう付け継手は、引張り強さが10kgf/mm²以上の良好な接合強度をもつ健全な継手であった。また、合金層の成長も観察されず、アルミめっき層は、当初の銀白色を呈していた。

【0016】

表2: 各種アルミめっき鋼板のろう付け性

鋼種	めっき層の厚み (μm)	めっき層のSi濃度 (重量%)	熱処理条件		ろう付け性の評価	区分
			温度 ($^{\circ}\text{C}$)	時間 (時)		
A	15.8	9.2	450	30	Δ	比較例
	24.5	9.2	520	10	\times	"
B	6.2	9.2	520	6	\times	"
	7.5	9.2	520	6	\bigcirc	本発明例
	22.4	9.2	450	20	Δ	比較例
	35.0	9.2	480	50	\bigcirc	本発明例
C	5.8	9.2	520	6	\times	比較例
	8.5	9.2	520	6	\bigcirc	本発明例
	12.6	3.3	520	6	\times	比較例
	25.7	7.5	520	6	\bigcirc	本発明例
	27.3	16.1	520	6	Δ	比較例
D	15.6	7.5	520	6	\bigcirc	本発明例
	15.8	9.2	420	50	\bigcirc	"
	17.2	9.2	350	50	Δ	比較例
E	12.3	9.2	420	2	Δ	"
	15.6	9.2	380	20	Δ	"
	14.1	9.2	390	45	\bigcirc	本発明例
	13.9	9.2	520	1	\bigcirc	"
F	23.0	3.3	520	6	\times	比較例
	22.9	7.5	540	10	\bigcirc	本発明例
	21.6	13.3	550	0.5	\bigcirc	"
G	5.5	9.2	500	10	\times	比較例
	31.0	7.5	300	20	Δ	"
	25.0	7.5	320	50	\bigcirc	本発明例
H	38.3	19.4	550	10	Δ	比較例
	15.3	9.2	550	10	\bigcirc	本発明例

【0017】更に、N濃縮熱処理の温度に及ぼすN含有量の影響を調査したところ、Al-Fe系金属間化合物層の成長を抑制できる熱処理の温度領域は、上限は570 $^{\circ}\text{C}$ の一定値であったが、図7に示すようにN含有量が多くなるに従って下限温度が低温側に移行した。下限温度T($^{\circ}\text{C}$)とN含有量(重量%)との関係を重回帰分析によって求めたところ、加熱時間をt(時)とすると、 $0.002\text{重量}\% \leq \text{N重量}\% < 0.005\text{重量}\%$ では $T = -3848 \times \text{N}^{1/2} + 672 - 35 \log(t/50)$ 、 $0.005\text{重量}\% \leq \text{N重量}\% \leq 0.020\text{重量}\%$ では $T = -1414 \times \text{N}^{1/2} + 500 - 35 \log(t/50)$ の関係が得られた。そこで、めっき原板のN含有量からN濃縮熱処理の下限温度を定め、この下限温度以上で且つ570 $^{\circ}\text{C}$ 以下の温度で熱処理することにより、ろう付け性の良好なアルミめっき鋼板が得られることが確認された。

【0018】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明のアルミめっき鋼板は、アルミめっき層と素地鋼との界面にN濃縮層を形成しているため、ろう付け性に優れ、アルミ材と同等なろう付けをすることができる。また、アルミめっき層は、ろう付け時の加熱によっても当初の表面状態

を失うことなく、銀白色の美麗な光沢を維持している。また、アルミめっき層へのFe拡散が抑えられるため、ろう付け後においても優れた耐食性が維持される。このようにして、本発明のアルミめっき鋼板は、耐食性、耐熱性、耐酸化性、意匠性等が要求される部分の構造材として、特に異種材料との接合に適した構造材として広範な用途で使用される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 ろう付け時の加熱温度が合金層の成長に及ぼす影響を表したグラフ

【図2】 加熱時間の経過に従って合金層が成長する過程を示すアルミめっき鋼板断面の金属組織を示した写真

【図3】 熱処理した後の鋼材表面を厚み方向に元素分析したときのFe、Al及びNの濃度分布を示すグラフ

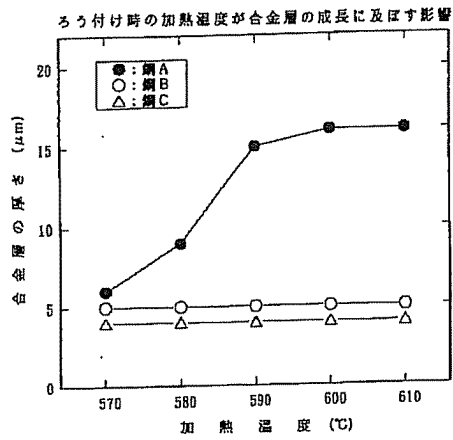
【図4】 ろう付け温度で成長する合金層の成長度に及ぼす熱処理温度の影響を表したグラフ(各折れ線に付した数値は、耐熱試験温度を示す)

【図5】 実施例で採用したろう付け継手の斜視図

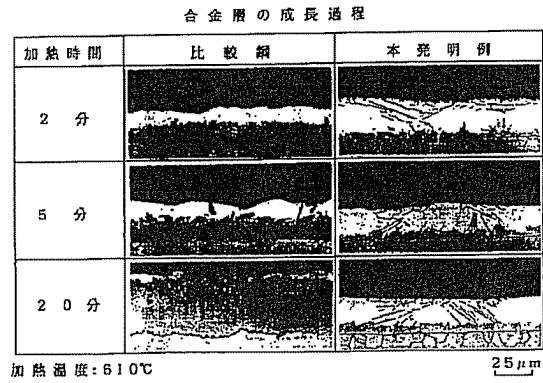
【図6】 実施例で採用したろう付け時の加熱パターンを示すグラフ

【図7】 めっき原板のN含有量がN濃縮熱処理の温度範囲に及ぼす影響

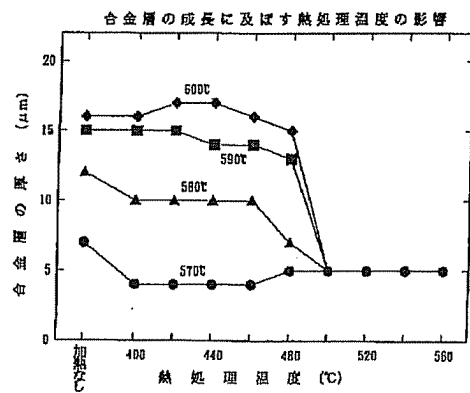
【図1】



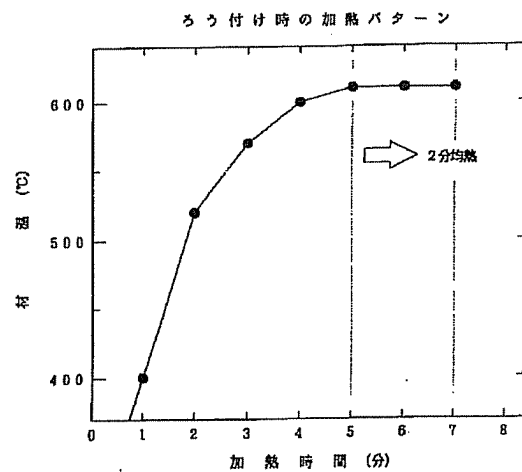
【図2】



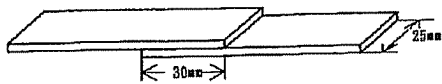
【図4】



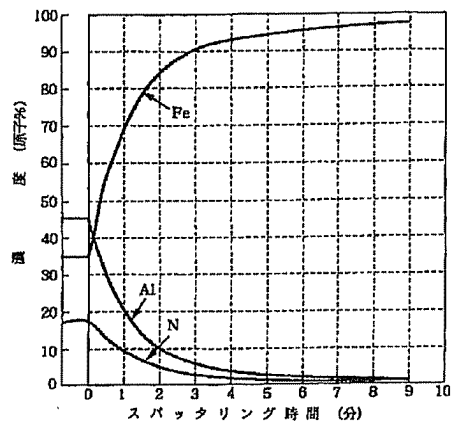
【図6】



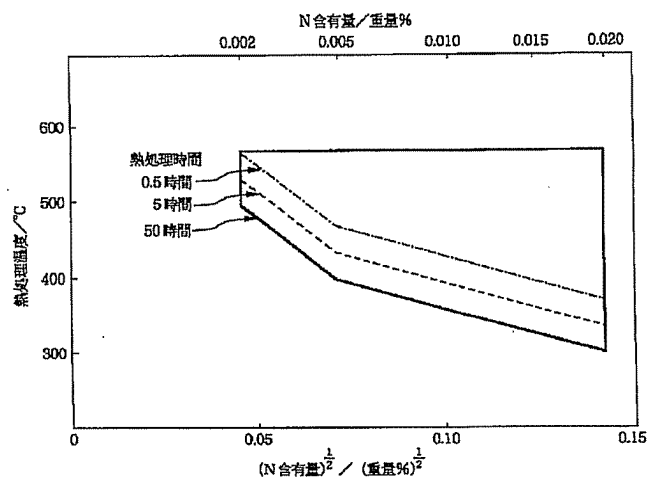
【図5】



熱処理後の濃度分布



【図7】



N含有量をN(重量%), 熱処理温度をT(°C), 時間をt(時間)とすると①, ②式で下限温度が規制される

$$(0.002 \leq N < 0.005 \%) : T = -3848/\sqrt{N} + 672 - 35 \log\left(\frac{t}{50}\right) \text{ ----- ①}$$

$$(0.005 \leq N \leq 0.020 \%) : T = -1414/\sqrt{N} + 500 - 35 \log\left(\frac{t}{50}\right) \text{ ----- ②}$$